

Lohrmann, Katrin; Hartinger, Andreas; Schwelle, Veronika; Hartig, Johannes
**Die Bedeutung der (Un-)Ähnlichkeit von Beispielen für den Aufbau von
konzeptuellem Wissen**

formal und inhaltlich überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:

formally and content revised edition of the original source in:

Zeitschrift für Grundschulforschung 7 (2014) 2, S. 60-73



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /

Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:0111-pedocs-128754

10.25656/01:12875

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-128754>

<https://doi.org/10.25656/01:12875>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation

Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Katrin Lohrmann, Andreas Hartinger, Veronika Schwelle & Johannes Hartig

Die Bedeutung der (Un-)Ähnlichkeit von Beispielen für den Aufbau von konzeptuellem Wissen

Ein Ziel von Unterricht ist der Aufbau von konzeptuellem Wissen, das für weiterführende Lernprozesse anschlussfähig ist. In diesem Zusammenhang stellt sich deshalb die Frage, wie entsprechende Lernumgebungen didaktisch zu gestalten sind. In dem Beitrag wird von den Ergebnissen einer quasi-experimentell angelegten Interventionsstudie¹ (N=397) im naturwissenschaftlichen Lernen der dritten Jahrgangsstufe berichtet, in der untersucht wurde, ob beim gleichzeitigen Arbeiten mit Beispielen zu einem Funktionsprinzip die Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit der Beispiele auf der Oberflächenstruktur für den Lerngewinn der Schüler(innen) von Bedeutung ist. Die Ergebnisse weisen auf eine größere Effektivität des Arbeitens mit unähnlichen Beispielen hin.

Schlüsselworte: Didaktik des Sachunterrichts, Lehr-Lernforschung, multiple Beispiele, Analoges Enkodieren, oberflächliche (Un-)Ähnlichkeit

The increase of conceptual knowledge, which is applicable to new situations, is one aim of instruction. In this context the question arises how to design appropriate learning situations. In the article at hand we show findings drawn from a quasi-experimental study (N=397) in the 3rd grade, in which we investigate how the similarity or dissimilarity of multiple examples influences the extension of conceptual knowledge. The findings show that learning with dissimilar examples is more beneficial than learning with similar examples.

Keywords: elementary science education, research on learning and instruction, multiple examples, analogical encoding, surface (dis)similarity

1. Einleitung

Für das naturwissenschaftliche Lernen in der Grundschule besteht weitestgehend Konsens hinsichtlich der Unterrichtsziele, die verfolgt werden sollten: Es geht um eine naturwissenschaftliche Grundbildung im Sinne von scientific literacy (u.a. Bybee 2002; Gräber & Nentwig 2002; Gräber, Nentwig & Nicolson 2002), die neben dem Erwerb von grundlegendem Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte und dem Beherrschen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen auch nichtleistungsbezogene Komponenten wie die Förderung von Motivation und Interesse beinhaltet (vgl. dazu auch BLK (Bund-

¹ Die für den Beitrag verwendeten Daten stammen aus einem Forschungsprojekt, das mit dem Aktenzeichen LO 1706/1-1 durch die DFG gefördert wurde und aus der AG Drittmittelförderung der GDSU entstand.

Länder-Kommission) & Prenzel 2004). Diese multikriterialen Zielsetzungen finden sich unter anderem auch im Perspektivrahmen der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU 2013) wieder, der einen bedeutsamen Orientierungsrahmen für die Gestaltung von Sachunterricht in der Grundschule darstellt.

Von besonderer Relevanz für den Beitrag ist das im Perspektivrahmen genannte Verstehen und Durchdringen von naturwissenschaftlichen Phänomenen, also der Aufbau von konzeptuellem Basiswissen. Unter konzeptuellem Wissen (u.a. Anderson & Krathwohl 2001) wird in diesem Zusammenhang das Vorhandensein von Wissensstrukturen verstanden, welche flexibel auf unterschiedlichste Kontexte anwendbar sind (vgl. dazu die Theorie zur kognitiven Flexibilität; Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson 1991). Verfügen Lernende über solch konzeptuelles Wissen, können sie ein Phänomen bezogen auf eine naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeit erklären, d.h. sie können die Frage nach dem *warum* beantworten. Verfügen Lernende über prozedurales Wissen, gelingt es ihnen bezogen auf eine Situation zu erklären, *wie* etwas funktioniert, ohne dass sie wissen, warum es so ist (Schwelle, Lohrmann & Hartinger 2014a).

Die Unterrichtsforschung versuchte in den letzten Jahren durch vielfältige Fragestellungen aufzuzeigen, wie es gelingen kann Lernsettings zu gestalten, die über das Potenzial verfügen, den angesprochenen Zielsetzungen gerecht zu werden. Als eine Möglichkeit hierfür wird das Arbeiten mit Beispielen gesehen, das im Fokus des vorliegenden Beitrags steht.

2. Stand der Forschung

Sowohl aus Sicht der Allgemeinen Didaktik, der Sachunterrichtsdidaktik als auch der Lehr-Lernforschung wird es als sinnvoll angesehen, Lernumgebungen basierend auf Beispielen zu gestalten (Gentner, Loewenstein & Thompson 2003; Klafki 1985; Renkl 1997; Spreckelsen 1997; vgl. zsf. Lohrmann, Hartinger & Schwelle 2013).

Als Vertreter der Allgemeinen Didaktik plädiert Klafki dafür, im Unterricht Beispiele heranzuziehen, die für den Lernenden elementar, fundamental und exemplarisch sind (u.a. Klafki 1961). Die *Exemplarität* eines Beispiels ist für ihn dabei zentral: Sie ergibt sich allerdings nicht automatisch aus der im Unterricht behandelten Thematik; vielmehr ist bei der Gestaltung von Lehr-Lernprozessen darauf zu achten, dass die Beispielhaftigkeit durch das Abstrahieren und Rückbeziehen auf weitere Beispiele deutlich wird (Lohrmann u.a. 2013).

Auch in der Didaktik des Sachunterrichts wurde die Idee des exemplarischen Lernens früh diskutiert. Ziel war und ist, anhand der Kriterien „Bedeutsamkeit“, „Zugänglichkeit“ und „Ergiebigkeit“ Beispiele zu finden, anhand derer die Stofffülle dieses Faches angemessen reduziert werden kann (vgl. z. B. Köhnlein 2012, 59). Bestimmte naturwissenschaftliche Phänomene können solche Beispiele sein. Mit Blick auf die Frage, wie anhand solcher Phänomene Unterricht gestaltet werden kann, sind die Überlegungen von Spreckelsen einschlägig, der anregt, mit sog. *Phänomenkreisen* zu arbeiten. Bei diesem unterrichtlichen Vorgehen werden mehrere Beispiele nacheinander bearbeitet, die demselben Funktionsprinzip angehören (u.a. Spreckelsen 1997).

Auch aus Studien mit einem stärkeren lehr-lernpsychologischen Schwerpunkt ergeben sich Hinweise, die für das Arbeiten mit mehreren Beispielen sprechen. So plädieren z. B. Renkl und Kollegen – auf die Cognitive Load-Theorie stützend (Sweller 1994) – für das Arbeiten mit Lösungsbeispielen, sog. *worked-out examples* (Renkl 1997). Aus den Arbeiten von Gentner und Kollegen zum Analogen Enkodieren ergeben sich Hinweise für die didaktische Umsetzung zum Arbeiten mit mehreren Beispielen (Gentner u.a. 2003; Jonassen 2011). Zentral ist hier, dass die Lernenden nicht an mehreren Beispielen aufeinander folgend arbeiten, sondern zu Beginn des Lernprozesses explizit dazu aufgefordert werden, gleichzeitig zwei bzw. mehrere Beispiele miteinander zu vergleichen. Die dadurch angeregten Abgleichprozesse zwischen den Beispielen zielen darauf, die zugrundeliegende Tiefenstruktur der Beispiele zu verstehen.

Unter der Tiefenstruktur (*structural similarity*, vgl. Gentner 1989) werden dabei Eigenschaften eines Beispiels verstanden, die beispielsweise eine Regelmäßigkeit, einen Lösungsansatz oder ein zugrundeliegendes Prinzip beschreiben. Verfügen Beispiele über eine ähnliche Oberflächenstruktur (*surface similarity*, vgl. ebd.), sind damit Eigenschaften von Beispielen zusammengefasst, die Augenscheinliches beschreiben wie beispielsweise den strukturellen Aufbau (z. B. die identische Lage des Drehpunkts bei Beispielen zum Hebelgesetz), aber auch die Farbe, das Material oder die Größe der Beispiele (Guo, Pang, Yang & Ding 2012).

Um die gemeinsame Tiefenstruktur solcher multipler Beispiele zu einem zugrundeliegenden Prinzip zu entdecken, bedarf es einer Vielzahl kognitiver Prozesse, die von Gentner in ihrer *Structure-Mapping-Theorie* konzeptualisiert werden (vgl. Gentner 1983; Gentner 1989): Um Bezüge zwischen den Beispielen herstellen zu können, „müssen die Lernenden die strukturell relevanten Merkmale der Phänomene identifizieren und aufeinander beziehen, um Gemeinsamkeiten erkennen zu können“ (Schwelle, Lohrmann & Hartinger 2012, 120). Diese strukturell relevanten Merkmale werden auch als *alignable differences* bezeichnet (Sagi, Gentner & Lovett 2012), die Abgleichprozesse, die zwischen den alignable differences stattfinden, als *structural alignment* oder auch als *Mapping* (Gentner u.a. 2003). Beim Vergleich können alle Beispiele als Informationsquelle dienen, d.h. eine Information, die an Beispiel A gewonnen wurde, kann mit Beispiel B abgeglichen werden und umgekehrt (Bach 2011; Gentner u.a. 2003). Durch diesen expliziten Vergleich der Beispiele sollten sich folgende Vorteile ergeben: Zum einen wird angenommen, dass die Lernenden ihre Aufmerksamkeit weg von der Oberflächenstruktur der Beispiele hin zur Tiefenstruktur wenden. Durch schlussfolgerndes Denken können so die gemeinsamen Prinzipien und Strukturen der Beispiele herausgearbeitet und in eine flexible Wissensstruktur integriert werden. Zum anderen ist es möglich, dass die Lernenden erkennen, dass das erlernte Wissen für verschiedene Kontexte relevant und nicht an die Erwerbssituation gebunden ist. Das Abrufen von strukturell ähnlichen Beispielen aus dem Gedächtnis sowie ein Übertragen des erworbenen Wissens auf neue Situationen kann dadurch gefördert werden.

Dieser strukturelle Abgleich kann auf unterschiedlichen, aufeinander aufbauenden Ebenen stattfinden: auf der Ebene von einzelnen Elementen, auf der Ebene der Relationen zwischen den Einzelementen und auf der Ebene des gesamten Systems aus Einzelementen und Relationen (Gentner 1989; Gentner & Kurtz 2006; Gentner & Markman

1994). Auf welcher Ebene den Lernenden diese kognitiven Prozesse gelingen, ist u.a. abhängig vom Vorwissen. Forschungsbefunde zeigen diesbezüglich, dass Novizen ihren Blick eher auf die Oberflächenstruktur der Beispiele richten, da ihnen die Tiefenstruktur noch nicht bekannt ist (Blanchette & Dunbar 2001; Chi, Feltovich & Glaser 1981).

Einschlägige Forschungsergebnisse können die Effektivität der Idee des Analogen Enkodierens nachweisen (z. B. Gentner u.a. 2003; Gentner, Loewenstein, Thompson & Forbus 2009; Kurtz & Loewenstein, 2007; Sagi u.a. 2012; Star & Rittle-Johnson 2009). Hinsichtlich der Frage, auf Basis welcher Kriterien die Beispiele ausgewählt werden sollen bzw. wie diese beschaffen sein sollen, um den Lernprozess möglichst positiv anzuregen, gibt es bisher jedoch keine empirischen Befunde für die Grundschule (Rittle-Johnson & Star 2009). Forschungen aus dem Kindergarten- und Sekundarbereich zeichnen folgendes Bild: Es wird deutlich, dass sich hinsichtlich der Auswahlkriterien und somit der Konkretisierungsmöglichkeiten des Analogen Enkodierens zwei konträre Positionen gegenüberstehen, die beide aus theoretischer Sicht ihre Berechtigung haben:

Einerseits sprechen sich Autoren für das Arbeiten mit *oberflächlich ähnlichen Beispielen* eines Funktionsprinzips aus (Haryu, Imai & Okada 2011; Mandrin & Preckel 2009). Argumentiert wird hierbei, dass gerade Novizen bezogen auf einen Inhaltsbereich ansonsten überfordert seien (Chi u.a. 1981; Vosniadou 1989) und ihnen ähnliche Merkmale auf der Oberflächenstruktur helfen können, die Mappingprozesse zwischen den Beispielen zu leisten, da ihnen die Tiefenstruktur noch unbekannt ist (Blanchette & Dunbar 2001).

Andererseits plädieren Autoren für das Arbeiten mit *oberflächlich unähnlichen Beispielen* eines Funktionsprinzips (Kurtz, Miao & Gentner 2001; Paas & van Merriënboer 1994; Quilici & Mayer 1996). Argumentiert wird hier, dass es den Lernenden durch das Wegfallen der gemeinsamen Oberflächenmerkmale besser gelingt, auf die Tiefenstruktur der Beispiele, d.h. auf das gemeinsame Funktionsprinzip, zu fokussieren. Ähnliche Beispiele hingegen hindern Lernende eher daran, die relevanten Aspekte zu erkennen und für den Wissenserwerb zu nutzen (Guo u.a. 2012). Vor allem für „Experten“, die bereits über entsprechendes Vorwissen verfügen, wird das Arbeiten mit Beispielen, die sich oberflächlich nur wenig ähneln, als geeignet angesehen.

3. Forschungslücke, Forschungsfrage und Hypothese

Basierend auf den herangezogenen Forschungsbefunden lautet die zentrale Frage folglich, *wie* die Beispiele auf der Oberfläche beschaffen sein sollen, die von den Lernenden miteinander verglichen werden. Wir haben in unserer Studie deshalb folgende Frage untersucht: Wie wirkt sich die oberflächliche Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit zwischen Beispielen auf den Auf- und Ausbau von konzeptuellem Wissen (bezogen auf das Hebelgesetz) aus?

Dabei nehmen wir an, dass sich die Kinder beim Lernen mit unähnlichen Beispielen intensiver mit der Tiefenstruktur der Beispiele auseinandersetzen und somit einen höheren Lerngewinn haben als Kinder, die mit ähnlichen Beispielen arbeiten. Angesichts der Tatsache, dass Kinder im Grundschulalter eher Novizen als Experten sind, betrachten wir eine sinnvolle inhaltliche Strukturierung und eine didaktische Unterstützung im

Unterricht (z. B. Gesprächsführung, Einsatz logischer Bilder; vgl. hierzu Schwelle 2014) als eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreiche Lernprozesse aufseiten der Kinder.

4. Methodisches Vorgehen

Untersuchungsdesign

Bei der quasi-experimentellen Unterrichtsstudie, aus der in diesem Beitrag berichtet wird, handelt es sich um einen nicht-randomisierten Drei-Gruppen-Plan mit drei Messzeitpunkten und einer Intervention zwischen dem Prä- und dem Post-Messzeitpunkt. Die sieben Unterrichtsstunden umfassende Intervention erfolgte unmittelbar nach der Prä-Erhebung, nach Abschluss der Intervention erfolgte die Post-Messung. Etwa drei Monate später wurde die Erhebungsphase durch ein Follow Up abgeschlossen. Durch die Variation der Ähnlichkeitsbeziehung der Beispiele (ähnlich bzw. unähnlich) ergeben sich zwei Versuchsgruppen. Beteiligt war außerdem eine Kontrollgruppe, bei der die Kinder an allen Tests, jedoch nicht an der Intervention teilnahmen.

Als Unterrichtsgegenstand der Intervention wurde das Hebelgesetz gewählt, da mit diesem Gegenstand an die Erfahrungs- und Lebenswelt der Kinder angeknüpft werden kann und er sowohl inhaltlich als auch didaktisch ergiebig ist.

Stichprobe

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie basieren auf einer Stichprobe von insgesamt 22 dritten Klassen aus 20 Schulen des Großraums Freiburg ($N=397$). Das durchschnittliche Alter der Kinder beträgt 8.42 Jahre ($SD=.56$). Die Anzahl der teilnehmenden Schüler(innen) variiert zwischen zwölf und 27 (bei einer durchschnittlichen Anzahl von 18). Die Auswahl der beiden Versuchsgruppen bzw. der Kontrollgruppe ergab sich durch die Bereitschaft zur Teilnahme der einzelnen Lehrkräfte (Gelegenheitsstichprobe). Mittels der Matched-Samples-Methode (vgl. Kupper, Karon, Kleinbaum, Morgenstern & Lewis 1981) wurden zwei Versuchsgruppen (ähnlich vs. unähnlich) gebildet; die Kontrollgruppe kam zustande durch die freiwillige Bereitschaft von insgesamt sechs Lehrkräften, ausschließlich an den Befragungen teilzunehmen.

Intervention

Um der Forschungsfrage nachzugehen, wurden Interventionseinheiten entlang der drei Funktionsprinzipien (Gleichgewicht, Kraftverstärkung einfach, Kraftverstärkung doppelt) entwickelt, deren zentrales Merkmal die systematische Variation der Ähnlichkeitsbeziehung ist (vgl. für eine ausführliche Beschreibung Schwelle 2014): Versuchsgruppe 1 setzt sich im Unterricht mit ähnlichen Beispielen auseinander, Versuchsgruppe 2 mit unähnlichen. Um diese Variation gewährleisten zu können, wurde für beide Versuchsgruppen auf theoretischer Grundlage ein sog. Kernbeispiel festgelegt, von dem ausgehend dann ein Kombinationsbeispiel ausgewählt wurde (vgl. Abbildung 1). Dieser konstante Ausgangspunkt ermöglichte es, die (Un-)Ähnlichkeitsbeziehung der Beispiele systematisch zu variieren.

	Versuchsgruppe ähnlich	Versuchsgruppe unähnlich	Kontrollgruppe	
	Ähnliche Beispiele	Unähnliche Beispiele		
Funktionsprinzip	Kombinations- beispiel	Kernbeispiel	Kombinations- beispiel	
Gleichgewicht	<div><div>Wippe</div><div><div>Balkenwaage</div><div>Kragbogenbrücke</div></div></div>			Kein Unterricht
Kraftverstärkung einfache Hebel	<div><div>Brechstange</div><div><div>Spaten</div><div>Sackkarre</div></div></div>			
Kraftverstärkung doppelte Hebel	<div><div>Nussknacker</div><div><div>Knoblauchpresse</div><div>Locher</div></div></div>			

Abbildung 1: Eingesetzte Beispiele in den beiden Versuchsgruppen

Neben dieser im Vorfeld vorgenommenen inhaltlichen Strukturierung des Unterrichtsgegenstands wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um die Lernenden beider Versuchsgruppen bestmöglich zu unterstützen: Zum einen wurde für jedes Beispiel ein dreidimensionales Modell bereitgestellt, mit dem die bei einem Hebel relevanten Strukturmerkmale (z. B. die Position des Drehpunkts) und ihre Zusammenhänge gut erkannt werden können. Zum anderen wurden als Strukturierungshilfe sog. logische Bilder eingesetzt, die „den Aufbau mentaler Modelle unterstützen und damit die Lernergebnisse verbessern“ (Martschinke 2007, 504). Des Weiteren wurden die Kinder beider Versuchsgruppen gleichermaßen im Unterricht sowohl durch Impulse als auch durch eine strukturierte, fachbezogene Gesprächsführung didaktisch unterstützt (Einsiedler & Hardy 2010). Dies war erforderlich, da die im Rahmen des Unterrichts explizit angeregten Vergleichsprozesse zwischen den Beispielen kognitiv als sehr anspruchsvoll einzuschätzen sind.

Diese Vergleichsprozesse wurden bereits zu Beginn jeder Unterrichtseinheit mit Fragen nach der Gemeinsamkeit der Beispiele angeregt – dabei fiel der Blick der Kinder häufig zunächst auf Oberflächenmerkmale. Weiterführende Impulse waren auf das Entdecken der gemeinsamen Funktion der Beispiele gerichtet (vgl. zsf. Schwelle 2014 sowie Schwelle, Lohrmann & Hartinger 2014b).

Der Unterricht wurde in beiden Gruppen und in allen Klassen von einer Projektmitarbeiterin gehalten. Damit kann als gesichert gelten, dass die Variation des Treatments entsprechend der Vorgaben durchgeführt wurde. Zudem wurden mögliche Lehrereffekte minimiert.

Datenerhebung und -auswertung

Um zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten das inhaltsspezifische Wissen zum Hebelgesetz sowie den Lernzuwachs der Kinder zu erfassen, wurde ein Leistungstest zum Hebelgesetz entwickelt (vgl. zsf. Schwelle, Hartinger, Lohrmann & Groß Ophoff 2013 sowie Schwelle u.a. 2014a). Dieser beinhaltet ausschließlich Aufgaben zu den drei Kernbeispielen, da diese von beiden Versuchsgruppen in den Interventionseinheiten bearbeitet wurden (vgl. Abbildung 1).

Um die Auswirkungen der Variation der (Un-)Ähnlichkeit zwischen Beispielen auf den Aufbau von konzeptuellem Wissen zu überprüfen, werden in Strukturgleichungsmodellen für ordinale Variablen latente Mittelwertvergleiche berechnet. Diese sollen es ermöglichen, einen Einblick in die Veränderung der Wissensstrukturen der Lernenden zu geben. Der Vorteil dieser latenten Analysen gegenüber einer Analyse von manifesten Testwerten (z. B. Summenwerten) besteht vor allem darin, dass die interessierende Klassen- sowie Versuchsgruppenzugehörigkeit, welche sich auf die Stichprobe auswirkt, in den Analysen berücksichtigt werden kann sowie Mittelwerte der Gruppen über die verschiedenen Zeitpunkte (bereinigt um die Messfehler der eingesetzten Skalen) geschätzt werden können. In Abbildung 2 wird ein Modell für die Testleistungen über drei Zeitpunkte schematisch dargestellt. Das Wissen zu jedem Zeitpunkt wird als separate latente Variable (ξ) modelliert, die durch dieselben Testitems (x) gemessen wird. Die Achsenabschnitte (Interzepte) derselben Items sowie deren Ladungen auf den latenten Variablen werden über die Zeitpunkte und Gruppen gleich gesetzt; damit wird Äquivalenz des gemessenen Wissens über die Zeitpunkte und Gruppen hinweg angenommen. Zwischen den Residuen derselben Items werden Zusammenhänge zugelassen. Die Mittelwerte der drei latenten Variablen werden für jede Gruppe geschätzt und erlauben so die für die Fragestellungen relevanten Mittelwertvergleiche. Der Stichprobenstruktur (Untersuchung von Schüler(inne)n in ganzen Schulklassen) wurde durch die Verwendung der in Mplus implementierten Pseudo-Maximum-Likelihood-Schätzung (PML) für komplexe Stichproben (Asparouhov & Muthén 2005) Rechnung getragen.

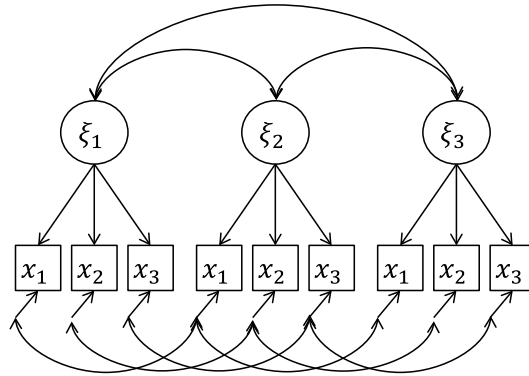


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Modells für die Testleistungen über drei Zeitpunkte innerhalb einer Gruppe. Geschätzt werden die Mittelwerte der drei latenten Variablen; die Interzepte derselben Items sowie deren Ladungen auf den latenten Variablen über die Zeitpunkte werden gleich gesetzt.

5. Ergebnisse

Deskriptive Ergebnisse

Nach einer Itemselektion auf Basis klassischer Gütekriterien (Itemtrennschärfe) gingen vier Items für die Skala konzeptuelles Wissen und drei Items für die Skala prozedurales Wissen in die Analysen ein. Tabelle 1 zeigt die internen Konsistenzen der resultierenden Skalen sowie die Rohwerte (% erreichter Punkte) zu den drei Zeitpunkten in den drei Gruppen. Auf Rohwertebene wird in allen Gruppen in beiden Skalen deskriptiv ein Leistungszuwachs sichtbar. Auffällig sind jedoch auch die trotz der Itemselektion niedrigen internen Konsistenzen der Skala prozedurales Wissen zu allen drei Zeitpunkten. Die Reliabilitäten der Skala konzeptuelles Wissen sind noch akzeptabel, aber auch nicht sonderlich hoch. Diese Werte unterstreichen den Nutzen einer latenten Modellierung des erfassten Wissens.

Skala		Zeitpunkt		
		Prätest (t_1)	Posttest (t_2)	Follow Up (t_3)
Konzeptuelles Wissen	Cronbachs α	.61	.67	.64
	Kontrollgruppe	57	58	64
	Versuchsgruppe „ähnlich“	53	62	61
	Versuchsgruppe „unähnlich“	52	65	63
	Mittelwert	54	62	63
Prozedurales Wissen	Cronbachs α	.48	.45	.41
	Kontrollgruppe	60	61	67
	Versuchsgruppe „ähnlich“	51	62	65
	Versuchsgruppe „unähnlich“	49	66	65
	Mittelwert	53	63	66

Tabelle 1: Interne Konsistenzen (Cronbachs α) der beiden Skalen über die Gruppen hinweg sowie Testwerte (% erreichter Punkte) innerhalb der Gruppen über die drei Zeitpunkte (t_1 bis t_3)

Ergebnisse der Strukturgleichungsmodelle

Die Analysen mit den Mehrgruppen-Strukturgleichungsmodellen ergaben, dass das prozedurale Wissen mit den eingesetzten Items nicht als homogene Wissensdimension dargestellt werden konnte. Dies äußerte sich darin, dass die Varianzen der latenten Variablen zu den drei Zeitpunkten in beiden Versuchsgruppen nicht signifikant von null verschieden waren, wodurch die Interpretation der Ergebnisse des Gesamtmodells bezogen auf die Fragestellungen nicht mehr möglich ist. Diese Problematik hatte sich in den niedrigen internen Konsistenzen der Skala bereits angedeutet. Da aufgrund der Ergebnisse nicht davon ausgegangen werden kann, dass prozedurales Wissen über die Zeit und Gruppen hinweg als homogenes Wissenskonstrukt abgebildet werden kann, wurde diese Skala von den weiteren Analysen ausgeschlossen und der Fokus ausschließlich auf die Skala konzeptuelles Wissen gerichtet. Aufgrund der hohen Bedeutung des konzeptuellen Wissens für scientific literacy ist dies unseres Erachtens auch inhaltlich gerechtfertigt.

Für das konzeptuelle Wissen über die drei Messzeitpunkte zeigte sich ein nach gängigen Kriterien guter Modellfit für das Mehrgruppen-Modell ($\chi^2 = 215$; $df = 165$; $RMSEA = .048$; $CFI = .96$; $TLI = .95$), die Varianzen der latenten Variablen zu allen Zeitpunkten waren signifikant von null verschieden. Damit kann angenommen werden, dass konzeptuelles Wissen als Konstrukt äquivalent über die Zeitpunkte und Gruppen hinweg erfasst werden kann. Die im Modell geschätzten latenten Mittelwerte für konzeptuelles Wissen der drei Gruppen über die drei Messzeitpunkte sind in Abbildung 3 grafisch dargestellt. Deskriptiv zeigt sich ein ähnlicher Verlauf wie für die Rohwerte (vgl. Tabelle 1): Bei etwas höheren Ausgangswerten in der Kontrollgruppe findet sich nach der Intervention der größte Wissenszuwachs in der Gruppe mit unähnlichen Beispielen, die zum Follow Up auch auf diesem Niveau bleibt. Die Gruppe mit ähnlichen Beispielen zeigt ebenfalls einen Zuwachs nach der Intervention, jedoch einen leichten Rückgang zum Follow Up. In der Kontrollgruppe findet sich zum Posttest der geringste Zuwachs, allerdings zeigt diese Gruppe zum Follow Up einen Anstieg im konzeptuellen Wissen.

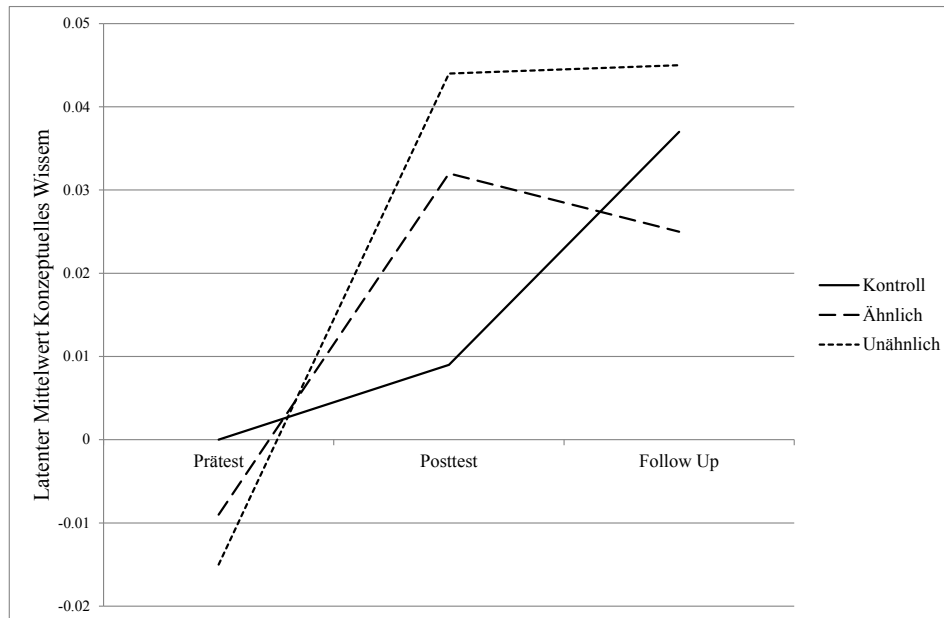


Abbildung 3: Latente Mittelwerte für konzeptuelles Wissen der drei Gruppen über die drei Messzeitpunkte. Der Mittelwert der Kontrollgruppe zum Prätest ist als Referenz auf null fixiert.

Zusätzlich zur deskriptiven Betrachtung wurden Signifikanztests durchgeführt, um die Mittelwerte zwischen Zeitpunkten innerhalb von Gruppen sowie zwischen Gruppen zum selben Zeitpunkt zu vergleichen. Hierbei zeigt sich, dass der Zuwachs zwischen Prätest und Posttest in beiden Versuchsgruppen, nicht jedoch in der Kontrollgruppe signifikant ist. Die Veränderungen zwischen Posttest und Follow Up sind in den Versuchsgruppen statistisch nicht bedeutsam, in der Kontrollgruppe hingegen schon. Der Kontrast zwischen Prätest und Follow Up ist für alle drei Gruppen signifikant. Tabelle 2 gibt hierzu einen Überblick.

	Post-Prä	FU-Post	FU-Prä
Kontrollgruppe	.01	.03*	.04*
Versuchsgruppe „ähnlich“	.04*	-.01	.03*
Versuchsgruppe „unähnlich“	.06*	.00	.06*

Tabelle 2: Lernzuwachs innerhalb der drei Gruppen zwischen zwei Zeitpunkten

Anmerkungen:

* $p \leq .05$ (einseitig getestet), angegeben werden die Differenzen der latenten Mittelwertunterschiede;

Prä = Prä-Messzeitpunkt; Post = Post-Messzeitpunkt; FU = Follow Up-Messzeitpunkt

Der einzige Gruppenunterschied, der innerhalb eines Zeitpunktes statistisch bedeutsam ist, ist der Vorteil der Gruppe mit unähnlichen Beispielen gegenüber der Kontrollgruppe zum Posttest.

6. Diskussion

Die Veränderungen im konzeptuellen Wissen belegen, dass die Kinder der beiden Versuchsgruppen durch die Intervention einen deutlichen Wissenszuwachs verzeichnen konnten – das Arbeiten mit mehreren Beispielen wirkt sich also positiv auf den Wissenserwerb aus. Dies bestätigt die Übertragbarkeit der Idee des Analogen Enkodierens (vgl. Gentner u.a. 2003) in den Unterricht der Grundschule. Da durch den durchgeführten Unterricht der Aufbau des konzeptuellen Wissens unterstützt wurde, erachten wir das Anregen solcher Vergleichsprozesse als eine Möglichkeit, die Unterrichtspraxis im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts zu verbessern, da hier die – immer wieder beklagte (z. B. Ramseger 2013) – fehlende Orientierung am Verstehen der Kinder durch ein wenig elaboriertes Verständnis des Experimentierens der Schüler(innen) überwunden werden kann.

Zumindest in der Tendenz stützen die Befunde darüber hinaus die Hypothese dieser Studie, wonach beim Arbeiten mit unähnlichen Beispielen ein höherer Lerngewinn erzielt werden kann (vgl. Kapitel 3). Mit Blick auf die Idee des Analogen Enkodierens bedeutet dies, dass es durch unähnliche Beispiele den Kindern offenbar etwas besser gelingt, die Tiefenstruktur, die bei ähnlicher Oberflächenstruktur eher verborgen bleibt, zu erkennen und Gesetzmäßigkeiten zu durchdringen. Es kann somit geschlussfolgert werden, dass ein größerer Lerngewinn angebahnt werden kann, wenn Vergleichsprozesse durch die oberflächliche Unähnlichkeit explizit angeregt werden. Allerdings ist festzustellen, dass die Befunde zwar hypothesenkonform, jedoch geringer ausgefallen sind als erwartet.

Hierzu gibt es verschiedene Erklärungen: Plausibel erscheint zunächst als Grund die Qualität der Interventionseinheiten. Bei der Vorbereitung der Intervention wurden die einzelnen Unterrichtseinheiten sowie die eingesetzten Materialien und Modelle mehrmals pilotiert und überarbeitet, so dass für beide Versuchsgruppen faire Treatments mit qualitativ gutem Unterricht sichergestellt werden konnten. Dies hat zur Folge, dass die Effekte, die durch die Variation der (Un-)Ähnlichkeit entstanden sind, möglicherweise letztlich nicht so bedeutsam sind. Allgemeine Unterrichtsqualität könnte sie nivelliert haben. Dies gilt insbesondere für die kognitive Aktivierung in unserem Unterricht. In den Laborsettings hatte sich gezeigt, dass die Lernenden in den ähnlichen Settings häufig nicht weiterdenken, weil es für sie – jenseits gemeinsamer Oberflächenmerkmale – nichts zu entdecken gibt und sie sich daher nicht auf die Suche nach Strukturmerkmalen machen. Durch die entsprechenden Maßnahmen zur kognitiven Aktivierung wurden die Kinder im Unterricht nun dazu angeregt, ihren Blick „trotz“ der oberflächlichen Ähnlichkeit auf die tieferliegende Ähnlichkeit zu richten.

Das Verständnis der Tiefenstruktur war Ziel unseres Lernens – gleichzeitig ist es auch eine unverzichtbare Bedingung für das erfolgreiche inhaltliche Lernen in unserer Lernsituation. Weitere Studien – auch differenzieller Natur – werden erforderlich sein, um dieses Wechselspiel im Lernprozess genauer zu erfassen. In diesem Zusammenhang

kann es dann auch wertvoll sein, die Bedeutung abstrakterer Repräsentationen zu bedenken. Durch unsere theoretische Anlehnung an die Arbeiten zum Analogen Enkodieren (Gentner u.a. 2003) und zum Einsatz von Phänomenkreisen (Spreckelsen 1997) haben wir darauf verzichtet, abstrakte Repräsentationen im Rahmen des Unterrichts einzusetzen. Hier ist eine Abgrenzung zu den Forschungsarbeiten von Goldstone zu sehen, der den Einsatz solcher Repräsentationen als sinnvoll erachtet und dafür empirische Belege liefern kann (u.a. Braithwaite & Goldstone 2013; Goldstone & Son 2005). Es wäre eine interessante Grundidee für Folgeuntersuchungen, die vorliegende Studie diesbezüglich zu erweitern, um mögliche Effekte von abstrakten Repräsentationen auf das naturwissenschaftliche Lernen von Kindern im Grundschulalter zu überprüfen.

Eine weitere mögliche Erklärung für die geringen Effekte ist auch, dass das Arbeiten mit den verschiedenen Konkretisierungen sich unterschiedlich auf Schüler(innen) mit unterschiedlichen Vorkenntnissen und kognitiven Fähigkeiten auswirkt. Mit Blick auf die Cognitive Load-Theorie werden die Effekte des Lernens aus Lösungsbeispielen u.a. damit erklärt, dass damit eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses geschieht. Durch die Anforderung, zwei Beispiele zu vergleichen und tieferliegende Strukturmerkmale zu entdecken, wird – zieht man diese Theorie heran – das Arbeitsgedächtnis insbesondere in der Gruppe mit den unähnlichen Beispielen besonders belastet. Von daher ist es eine interessante Frage, differenzielle Effekte zu überprüfen. Dies wird in einem zweiten Schritt anhand der vorliegenden Daten geschehen. Aus diesen Ergebnissen können sich gegebenenfalls auch Hinweise für eine Differenzierung im (naturwissenschaftlichen) Unterricht durch unterschiedliche gewählte Beispiele ergeben.

Forschungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Frage inwieweit sich die berichteten Ergebnisse auf andere Inhaltsbereiche bzw. auf andere Jahrgangsstufen übertragen lassen. Ebenso wäre für zukünftige Studien zu berücksichtigen, inwieweit sich das Arbeiten mit unterschiedlichen Konkretisierungen auf Motivation und Selbstkonzept der Schüler(innen) auswirkt.

Hinsichtlich des prozeduralen Wissens ist festzuhalten, dass diese Wissensart über die Zeit und Gruppen hinweg nicht als homogenes Wissenskonstrukt abgebildet werden konnte. Dies zeigt sich durch die niedrige interne Konsistenz der Items zum prozeduralen Wissen im inhaltspezifischen Leistungstest. Da das eingesetzte Testinstrument eigens für die Studie entwickelt wurde, wird angenommen, dass diesbezüglich Entwicklungspotential hinsichtlich der Items besteht. Für künftige Folgeuntersuchungen kann somit durch die Itemoptimierung sowie auch durch die Pilotierung des Testinstruments nicht nur zum Prä-Messzeitpunkt (vgl. Schwelle u.a. 2013) eine Möglichkeit gesehen werden, Veränderungen im prozeduralen Wissen von Kindern zu erfassen.

Zusammenfassend zeigt diese Studie erstmals, dass sich die Idee des Analogen Enkodierens erfolgreich auf naturwissenschaftliches Lernen übertragen lässt. Auch unter dem Anspruch, Befunde von Lehr-Lerntheorie verstärkt mit fachdidaktischer Forschung zu verknüpfen sowie unterrichtspraktische Fragestellungen über das naturwissenschaftliche Lernen hinaus auf andere Bereiche des (Sach-)Unterrichts zu beziehen, wäre nun zu überprüfen, inwieweit diese Form des Unterrichts auch für andere Perspektiven des Sachunterrichts möglich und erfolgversprechend ist.

Literatur

- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001): A taxonomy for learning, teaching, and assessing. A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York.
- Bach, T. (2011): Structure-mapping: Directions from simulation to theory. In: *Philosophical Psychology*, 24, H.1, 23–51.
- Blanchette, I. & Dunbar, K. (2001): Analogy use in naturalistic settings: The influence of audience, emotion and goals. In: *Memory & Cognition*, 29, 730–735.
- BLK (Bund-Länder-Kommission) & Prenzel, M. (Hrsg.) (2004): SINUS-Transfer Grundschule. Weiterentwicklung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts an Grundschulen (112). Kiel.
- Braithwaite, D. & Goldstone, R. (2013): Integrating formal and grounded representations in combinatorics learning. In: *Journal of Educational Psychology*, 105, 666–682.
- Bybee, R. W. (2002): Scientific Literacy – Mythos oder Realität? In: Evans, R., Gräber, W., Koballa, T. & Nentwig, P. (Hrsg.): *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen, 21–44.
- Chi, M. T., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981): Categorization and representation of physics problems by experts and novices. In: *Cognitive Science*, 5, 121–152.
- Einsiedler, W. & Hardy, I. (2010): Kognitive Strukturierung im Unterricht: Einführung und Begriffserklärungen. In: *Unterrichtswissenschaft*, 38, 194–209.
- GDSU (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts) (2013): *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Vollständig überarb. und erw. Aufl. Bad Heilbrunn.
- Gentner, D. (1983): Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. In: *Cognitive Science*, 7, 155–170.
- Gentner, D. (1989): The mechanisms of analogical learning. In: Vosniadou, S. & Ortony, A. (Ed.): *Similarity and analogical reasoning*. New York, 199–241.
- Gentner, D. & Markman, A. B. (1994): Structural alignment in comparison: No difference without similarity. In: *Psychological Science*, 5, 152–158.
- Gentner, D., Loewenstein, J. & Thompson, L. (2003): Learning and transfer: A general role for analogical encoding. In: *Journal of Educational Psychology*, 95, 393–405.
- Gentner, D. & Kurtz, K. J. (2006): Relations, objects, and the composition of analogies. In: *Cognitive Science*, 30, 609–642.
- Gentner, D., Loewenstein, J., Thompson, L. & Forbus, K. D. (2009): Reviving inert knowledge: Analogical abstraction supports relational retrieval of past events. In: *Cognitive Science*, 33, 1343–1382.
- Goldstone, R. & Son, J. (2005): The transfer of scientific principles using concrete and idealized simulations. In: *The Journal of the Learning Science*, 14, 69–110.
- Gräber, W. & Nentwig, P. (2002): Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In: Evans, R., Gräber, W., Koballa, T. & Nentwig, P. (Hrsg.): *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen, 7–20.
- Gräber, W., Nentwig, P. & Nicolson, P. (2002): Scientific Literacy – von der Theorie zur Praxis. In: Evans, R., Gräber, W., Koballa, T. & Nentwig, P. (Hrsg.): *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen, 135–145.
- Guo, J.-P., Pang, M., Yang, L.-Y. & Ding, Y. (2012): Learning from comparing multiple examples: On the dilemma of 'similar' or 'different'. In: *Educational Psychology Review*, 24, 251–269.
- Haryu, E., Imai, M. & Okada, H. (2011): Object similarity bootstraps young children to action-based verb extension. In: *Child Development*, 82, 674–686.
- Jonassen, D. H. (2011): *Learning to solve problems. A handbook for designing problem-solving learning environments*. New York.

- Klafki, W. (1961): Die didaktischen Prinzipien des Elementaren, Fundamentalen und Exemplarischen. In: Blumenthal, A., Guthmann, J., Horney, W., Seilnacht, F. & Stöcker, K. (Hrsg.): Handbuch für Lehrer. Band 2: Die Praxis der Unterrichtsgestaltung. Gütersloh, 120–139.
- Klafki, W. (1985): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Beiträge zur kritisch-konstruktiven Didaktik. Weinheim.
- Köhnlein, W. (2012): Sachunterricht und Bildung. Bad Heilbrunn.
- Kupper, L. L., Karon, J. M., Kleinbaum, D. G., Morgenstern, H. & Lewis, D. K. (1981): Matching in epidemiologic studies: Validity and efficiency considerations. In: *Biometrics*, 37, 271–291.
- Kurtz, K. J., Miao, C.-H. & Gentner, D. (2001): Learning by Analogical Bootstrapping. In: *Journal of the Learning Sciences*, 10, 417–446.
- Kurtz, K. J. & Loewenstein, J. (2007): Converging on a new role for analogy in problem solving and retrieval: When two problems are better than one. In: *Memory & Cognition*, 35, 334–341.
- Lohrmann, K., Hartinger, A. & Schwelle, V. (2013): Exemplarisches Lehren und Lernen durch das Arbeiten mit Beispielen – theoretische Bezüge zwischen Allgemeiner Didaktik, Fachdidaktik und Lehr-Lernpsychologie. In: *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 6, H.1, 158–171.
- Mandrin, P.-A. & Preckel, D. (2009): Effect of similarity-based guided discovery learning on conceptual performance. In: *School Science & Mathematics*, 109, H.3, 133–145.
- Martschinke, S. (2007): Bilder. In: Kahlert, J., Fölling-Albers, M., Götz, M., Hartinger, A., von Reeken, D. & Wittkowske, S. (Hrsg.): Handbuch Didaktik des Sachunterrichts. Bad Heilbrunn, 501–507.
- Paas, F. & van Merriënboer, J. (1994): Variability of worked examples and transfer of geometrical problem-solving skills: A cognitive-load approach. In: *Journal of Educational Psychology*, 86, 122–133.
- Quilici, J. L. & Mayer, R. E. (1996): Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. In: *Journal of Educational Psychology*, 88, 144–161.
- Ramseger, J. (2013): Prozessbezogene Qualitätskriterien für den naturwissenschaftlichen Unterricht – Zehn Kriterien für wirksames didaktisches Handeln im Elementar- und Primarbereich. In: Anders, Y., Hardy, I., Pauen, S., Ramseger, J., Sodian, B. & Steffensky, M. (Hrsg.) *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“* Band 5, 147–171.
- Renkl, A. (1997): Learning from worked-out examples: A study on individual differences. In: *Cognitive Science*, 21, 1–29.
- Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, T. & Schweizer, K. (2003): Cognitive Load beim Lernen aus Lösungsbeispielen. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, H.2, 93–101.
- Rittle-Johnson, B. & Star, J. R. (2009): Compared with what? The effects of different comparisons on conceptual knowledge and procedural flexibility for equation solving. In: *Journal of Educational Psychology*, 101, 529–544.
- Sagi, E., Gentner, D. & Lovett, A. (2012): What difference reveals about similarity. In: *Cognitive Science*, 36, 1019–1050.
- Schwelle, V. (2014): Die Auswirkungen oberflächlicher (Un-)Ähnlichkeit von Beispielen auf den Aufbau von Wissen im naturwissenschaftlichen Lernen der Grundschule. Unveröffentlichte Dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg.
- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2012): Woran machen Kinder Gemeinsamkeiten zwischen Phänomenen fest? Prozedurales und konzeptuelles Wissen von Drittklässlern zu Hebeln. In: Giest, H., Heran-Dörr, E. & Archie, C. (Hrsg.): *Lernen und Lehren im Sachunterricht. Zum Verhältnis von Konstruktion und Instruktion*. Bad Heilbrunn, 119–126.
- Schwelle, V., Hartinger, A., Lohrmann, K. & Groß Ophoff, J. (2013): „Ein Nussknacker ist aus Metall und deshalb stärker als die Hand.“ Präkonzepte von Drittklässlern zum Hebelgesetz. In: Fischer, H.-J., Giest, H. & Pech, D. (Hrsg.): *Der Sachunterricht und seine Didaktik. Bestände prüfen und Perspektiven entwickeln*. Bad Heilbrunn, 129–136.

- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2014a): Interne Strukturen in einem Wissenstest zum Hebelgesetz. In: Fischer, H.-J., Giest, H. & Peschel, M. (Hrsg.): Lernsituationen und Aufgabenkultur im Sachunterricht. Bad Heilbrunn, 181–188.
- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2014b, in Vorbereitung): Das Hebelgesetz in der Grundschule. In: Zeitschrift Grundschule Sachunterricht, 64.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1991): Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In: Educational technology, 31, H.5, 24–33.
- Spreckelsen, K. (1997): Phänomenkreise als Verstehenshilfen. In: Köhnlein, W., Marquardt-Mau, B. & Schreier, H. (Hrsg.): Kinder auf dem Wege zum Verstehen der Welt. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts Band 1. Bad Heilbrunn, 111–127.
- Star, J. R. & Rittle-Johnson, B. (2009): It pays to compare: An experimental study on computational estimation. In: Journal of Experimental Child Psychology, 102, 408–426.
- Sweller, J. (1994): Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. In: Learning and Instruction, 4, 295–312.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985): The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. In: Cognition and Instruction, 2, 59–89.
- Vosniadou, S. (1989): Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: A developmental perspective. In: Vosniadou, S. & Ortony, A. (Ed.): Similarity and analogical reasoning. New York, 413–437.

Prof. Dr. Katrin Lohrmann, Institut für Erziehungswissenschaft, Pädagogische Hochschule Freiburg;
katrin.lohrmann@ph-freiburg.de

Prof. Dr. Andreas Hartinger, Lehrstuhl für Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik, Universität Augsburg;
andreas.hartinger@phil.uni-augsburg.de

Veronika Schwelle, Institut für Erziehungswissenschaft, Pädagogische Hochschule Freiburg;
veronika.schwelle@ph-freiburg.de

Prof. Dr. Johannes Hartig, Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF), Frankfurt a.M.;
hartig@dipf.de